

## **RANCANG BANGUN INSTRUMENTASI TEMPERATUR TINGGI MENGUNAKAN PRINSIP DEFLEKSI LASER HE-NE SEBAGAI BAGIAN DARI SISTEM KENDALI OPERASI DI BIDANG INDUSTRI**

**Nur Kadarisman**

*Jurusan Pendidikan Fisika, FMIPA, Universitas Negeri Yogyakarta*

### **Abstrak**

Pemantauan dan pengendalian semua variabel proses seperti daya, temperatur, dan tekanan merupakan kebutuhan mutlak dalam bidang industri. Instrumentasi merupakan alat yang dapat digunakan untuk memantau dan mengendalikan variabel proses tersebut. Dari hasil pemantauan maka dapat diketahui apakah sistem berjalan sesuai dengan yang dikehendaki atau tidak. Bila terjadi penyimpangan, maka diperlukan tindakan kontrol sehingga proses dapat berjalan sesuai dengan yang diharapkan (sistem kendali operasi). Salah satu peralatan instrumentasi yang perlu diteliti adalah pemanfaatan defleksi Laser. Di dalam penelitian ini, diperkenalkan suatu metode pengukuran suhu nonkontak yang sederhana, yakni dengan mempergunakan prinsip defleksi. Ketika seberkas sinar dilewatkan di daerah yang berbeda suhu secara bertahap, maka sinar tersebut akan dibiaskan secara berulang, yang akan menyebabkan sinar tersebut terdefleksi (terbelokkan). Sesuai dengan hukum Snellius tentang pembiasan cahaya.

Di dalam penelitian ini pada tahap pertama telah dilakukan penelitian skala laboratorium dengan menggunakan sinar laser He-Ne yang dilewatkan di atas pelat yang dipanaskan. Hasil penelitian pada tahun pertama adalah sebagai berikut : (1) Diperoleh fitting data dari hubungan antara perubahan suhu dengan simpangan defleksi sinar laser dengan panjang medium yang konstant dengan persamaan  $Y = A.T$ . (2) Diperoleh fitting data dari perubahan panjang medium pemanas dengan simpangan defleksi sinar laser pada suhu konstant dengan persamaan  $L = B.Y$ . dengan A dan B adalah konstanta hasil fitting, Y adalah simpangan defleksi dan L = panjang medium pemanas serta T = suhu ruangan pemanas (3) Telah dikembangkan modeling dengan sistem elektronik untuk suhu non kontak temperatur tinggi sebagai sistem kendali di bidang industri dengan pengaturan menggunakan hasil (1) dan (2).

Pola defleksi yang diterima oleh detektor yang dilengkapi dengan sistem akuisisi data. Sistem akuisisi data terdiri dari dua bagian yaitu sistem pengkondisi sinyal dengan pola sensor yang melingkar dengan jari-jari defleksi sesuai dengan suhu ruangan. Detektor adalah alat untuk mengubah besaran fisik - dalam hal ini fluks intensitas cahaya - menjadi besaran listrik dalam penelitian ini digunakan Foto Transistor. Pemilihan Foto Transistor sebagai detektor didasarkan pada akurasi, presisi, linieritas dan kestabilan temperatur. Jika detektor ini ditembus oleh sinar laser maka akan ditangkap oleh Foto Transistor. Hal ini menyebabkan timbulnya arus listrik dan arus listrik yang dihasilkan bisa dirangkai dengan sistem alarm untuk setiap perubahan suhu medium yang terjad

### **PENDAHULUAN**

#### **Latar Belakang**

Di dalam industri banyak dilakukan pengukuran suhu suatu obyek yang memiliki suhu yang tinggi. Alat ukur yang biasa dipergunakan adalah alat ukur yang membutuhkan kontak fisik dengan obyek yang diukur. Jika obyek yang diukur mempunyai suhu tinggi, diperlukan sensor dengan titik leleh yang tinggi juga. Selain itu tuntutan penggunaan alat pengukur suhu nonkontak juga dikarenakan obyek yang berada pada daerah yang berbahaya atau adanya kebutuhan untuk menghindari kontaminasi dengan obyek, seperti makanan dan obat-obatan ([www.id.wikipedia.org/termometer-inframerah](http://www.id.wikipedia.org/termometer-inframerah)). Oleh karena itu dipergunakan alat ukur suhu nonkontak seperti *radiation thermometer* yang memanfaatkan radiasi panas serta *optical pyrometer* yang memanfaatkan radiasi panas dan pancaran cahaya (optik). Akan tetapi, alat ukur suhu dengan radiasi memerlukan harga emitansi dan emisivitas bahan dari material yang penentuannya tidaklah mudah.

Pencarian metode pengukuran suhu nonkontak terus dilakukan, agar diperoleh suatu metode dan alat ukur yang menghasilkan hasil pengukuran suhu yang akurat. Di dalam penelitian ini, diperkenalkan suatu metode pengukuran suhu nonkontak yang sederhana, yakni dengan mempergunakan prinsip defleksi. Ketika seberkas sinar dilewatkan di daerah yang berbeda suhu secara bertahap, maka sinar tersebut akan dibiaskan secara berulang, yang akan menyebabkan sinar tersebut terdefleksi (terbelokkan). Sesuai dengan hukum Snellius tentang pembiasan, bahwa ketika cahaya datang dari medium kurang rapat ke medium lebih rapat maka cahaya tersebut akan dibiaskan mendekati garis normal.

Di dalam penelitian ini pada tahap pertama dilakukan penelitian skala laboratorium dengan menggunakan sinar laser He-Ne yang dilewatkan di atas pelat yang dipanaskan. Ketika sebuah pelat dipanaskan, maka akan terjadi daerah bergradien suhu di atas pelat tersebut, semakin ke atas suhunya semakin rendah atau mendekati suhu lingkungan. Akibat gradien suhu tersebut, akan terjadi daerah bergradien indeks bias. Apabila sinar laser dilewatkan pada daerah tersebut maka sinar laser akan dibiaskan secara berulang, akibatnya sinar laser akan bergerak menjauhi pelat atau terdefleksi.

Pada tahapan berikutnya dimana instrumentasi di implementasikan untuk pengukuran temperatur industri. Pemantauan dan pengendalian semua variabel proses seperti daya, temperatur, dan tekanan merupakan kebutuhan mutlak dalam bidang industri. Instrumentasi merupakan alat yang dapat digunakan untuk memantau dan mengendalikan variabel proses tersebut. Dari hasil pemantauan maka dapat diketahui apakah sistem berjalan sesuai dengan yang dikehendaki atau tidak. Bila terjadi penyimpangan, maka diperlukan tindakan kontrol sehingga proses dapat berjalan sesuai dengan yang diharapkan. Instrumentasi temperatur menggunakan prinsip defleksi Laser ini dalam penggunaannya dikembangkan untuk pengukuran suhu nonkontak pada suatu logam yang panas, dengan sinar laser sebagai sensor suhunya. Jadi dengan mengetahui nilai defleksinya kita dapat mengetahui nilai suhu yang kita ukur.

## TUJUAN PENELITIAN

Pada dasarnya penelitian ini adalah suatu upaya yang bersifat metodologis praktis dalam upaya untuk menghasilkan instrumentasi temperatur tinggi non kontak menggunakan prinsip defleksi laser yang dapat diimplementasikan untuk industri tertentu sebagai bagian dari sistem kendali operasi. Sedangkan tujuan khusus dari setiap tahapan penelitian yang dilakukan adalah sebagai berikut :

A. Tujuan Khusus **Tahun pertama** (penelitian skala Laboratorium) :

- a. Untuk mengetahui pengaruh suhu terhadap defleksi laser.
- b. Untuk mengetahui pengaruh panjang pelat terhadap suhu untuk setiap defleksi laser.
- c. Untuk mengetahui pengaruh jarak laser dengan permukaan pelat terhadap jumlah defleksi laser.
- d. Modeling instalasi alarm temperatur tegangan tinggi

## B. Pentingnya Rencana Penelitian

Penelitian ini sangat bermanfaat baik secara praktis maupun teoritis.. Beberapa manfaat lain dari penelitian ini adalah:

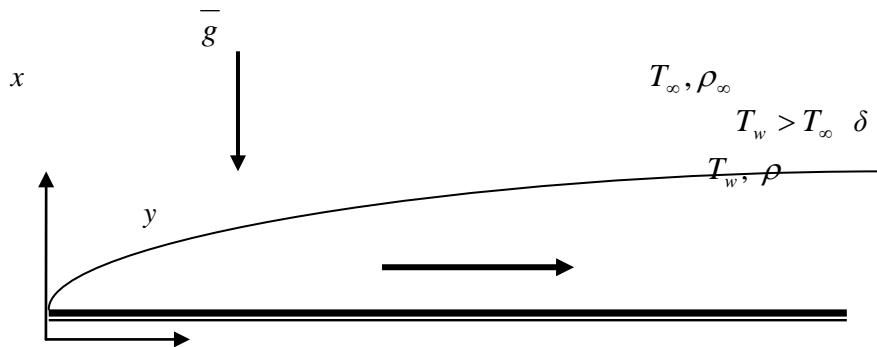
1. Instrumentasi temperatur nonkontak sangat berguna untuk aplikasi industri karena instrumentasi tidak memerlukan persyaratan alat ukur memiliki titik leleh yang tinggi.
2. Pengolahan data melalui komputer sangat bermanfaat untuk analisa data sekaligus sebagai input untuk pengendalian sistem operasi produksi.
3. Peneliti dapat melakukan identifikasi mengenai berbagai kemungkinan untuk menjalin kerjasama secara lebih luas dengan kalangan industri.

## I. STUDI PUSTAKA

### A. Distribusi Suhu di Atas Pelat Horisontal

Apabila pelat dipanaskan, maka panas tersebut akan memanaskan fluida di atasnya, dimana fluida yang dekat dengan permukaan pelat akan berkurang kerapatannya akibat pemanasan

pelat tersebut. Sehingga fluida yang dekat dengan permukaan pelat akan berbeda kerapatannya jika dibandingkan dengan fluida yang jauh dengan pelat. Perbedaan kerapatan tersebutlah yang menyebabkan fluida yang lebih berat mengalir ke bawah dan fluida yang lebih ringan akan mengalir ke atas. Jika gerakan itu hanya disebabkan oleh perbedaan kerapatan yang diakibatkan oleh gradien suhu, maka perpindahan panas itu disebut konveksi alami (Frank Kreith, 1987 : 383).

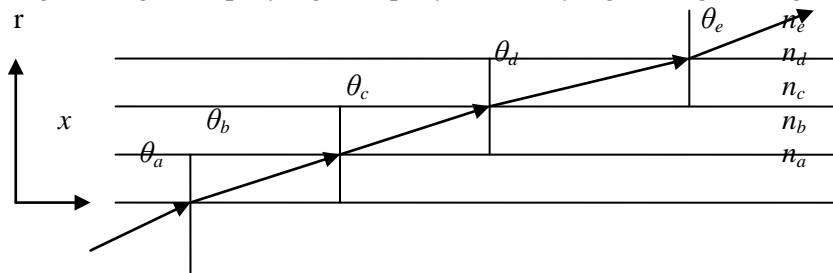


Gambar 1. Aliran konveksi alami diatas pelat horisontal

Gambar 1 menunjukkan aliran konveksi alami pada sebuah pelat horisontal yang dipengaruhi oleh gaya luar yakni gaya gravitasi  $g$ . Ketika pelat dengan suhu  $T_w$  memanaskan fluida yang berbatasan dengan pelat tersebut ke atas, maka fluida yang dekat dengan permukaan pelat menjadi lebih panas daripada fluida yang jauh dengan permukaan pelat dengan suhu  $T_\infty$ . Akibatnya terjadi perbedaan tekanan, yang akan menyebabkan lapisan batas mengalir diatas permukaan pelat sepanjang permukaan pelat (A.Bejan & A.D Krauss 2003 : 541). Distribusi suhu di atas pelat horisontal, sesuai dengan Gambar 1,

## B. Lintasan Cahaya Dalam Medium dengan Gradien Index Bias

Jika seberkas sinar melewati medium optik yang bervariasi indeks biasnya, maka sinar tersebut akan mempunyai lintasan yang melengkung. Gambar 2 menunjukkan jika seberkas sinar melewati medium yang mempunyai perubahan indeks bias secara bertahap, yang dibayangkan sebagai segmen-segmen tipis yang mempunyai indeks yang masing-masing berbeda.



Gambar 2. Segmen-segmen indeks bias  $n_a \leq n_b \leq n_c \leq n_d \leq n_e$

Menurut hukum Snellius

$$n_a \sin \theta_a = n_b \sin \theta_b = n_c \sin \theta_c = \dots = \text{konstan.}$$

Sehingga  $n \sin \theta = \text{konstan}$  dan  $(n \sin \theta)^2 = \text{konstan}$ .

Selanjutnya,

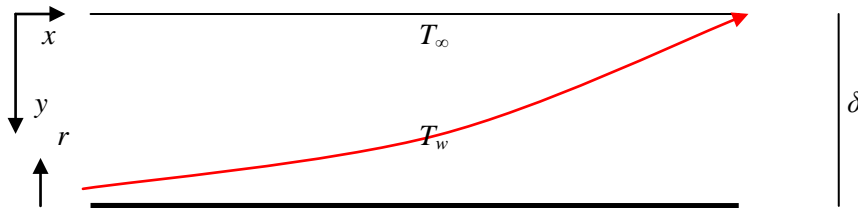
$$\frac{d}{dr} (n^2 \sin^2 \theta) = \frac{dn^2}{dr} \sin^2 \theta + n^2 2 \sin \theta \cos \theta \frac{d\theta}{dr} = 0 \quad (2.1)$$

nilai  $\theta = \arctan \frac{dx}{dr}$ , sehingga menjadi

$$\frac{dn^2}{dr} + 2n^2 \frac{dr}{dx} \frac{1}{1 + \left(\frac{dx}{dr}\right)^2} \frac{d^2x}{dr^2} = 0 \quad (2.2)$$

### C. Lintasan Cahaya di atas Pelat Horisontal

Jika seberkas cahaya laser memasuki daerah bergradien suhu yang menyebabkan gradien indeks bias maka cahaya laser tersebut akan bergerak melengkung menjauhi pelat.



Gambar 3. Lintasan sinar laser yang melengkung

Dengan mendefinisikan tebal lapisan batas termal  $\delta = r + y$  maka Persamaan (2.3) menjadi

$$T = (T_w - T_\infty) \left[ \frac{r}{\delta} \right]^2 + T_\infty. \quad (2.3)$$

Substitusi Persamaan (2.16) ke Persamaan (2.10) diperoleh

$$n^2 - 1 = \frac{3PA/R}{(T_w - T_\infty) \left[ \frac{r}{\delta} \right]^2 + T_\infty}. \quad (2.4)$$

Diferensialkan Persamaan (2.17) tersebut terhadap  $r$ , diperoleh

$$\frac{dn^2}{dr} = - \frac{6PA/R(T_w - T_\infty) \left[ \frac{r}{\delta} \right]^2}{\left[ (T_w - T_\infty) \left( \frac{r}{\delta} \right)^2 + T_\infty \right]^2}. \quad (2.5)$$

Dengan menggabungkan Persamaan (2.4) dengan Persamaan (2.5) diperoleh

$$\frac{d^2r}{dx^2} = \frac{3PA}{RC^2} \frac{(T_w - T_\infty) \left[ \frac{r}{\delta} \right]^2}{\left[ (T_w - T_\infty) \left( \frac{r}{\delta} \right)^2 + T_\infty \right]^2} \quad (2.6)$$

Persamaan (2.6) adalah persamaan lintasan cahaya di atas pelat yang dipanasi.

### D. Laser

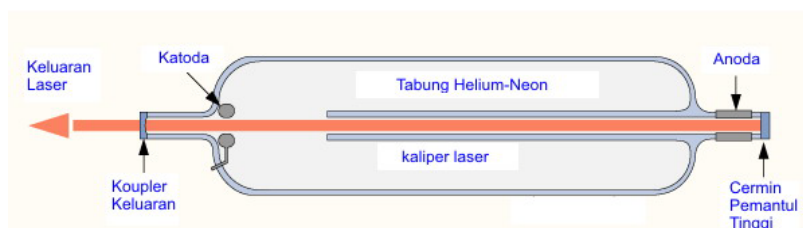
Istilah laser adalah singkatan dari *Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation* (penguatan sinar dengan emisi radiasi yang dirangsang). Dalam laser, atom atau molekul dipancarkan sedemikian rupa sehingga laser lebih banyak yang memiliki energi tingkat tinggi, ini merupakan kondisi dimana laser disebut berada dalam populasi invertasi (*pembalikan populasi*). Atom dapat dirangsang ke tingkat tertentu dalam jumlah yang cukup untuk mencapai populasi invertasi adalah dengan kejutan elektron atau disebut juga pemompaan.

Pertama atom atau molekul berada dalam daerah eksitasi, atom atau molekul tersebut siap untuk memancarkan radiasi. Apabila terdapat foton yang mempunyai frekuensi sesuai dengan beda

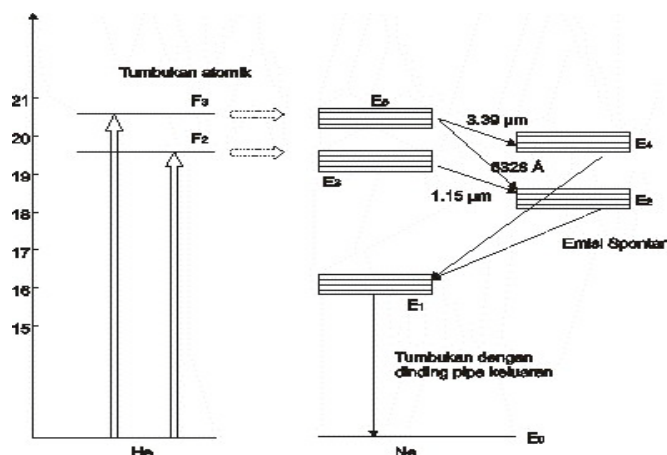
energi antara daerah eksitasi dan keadaan dasar, maka foton tersebut membentur atom eksitasi. Atom kemudian distimulasi untuk memancarkan foton kedua pada frekuensi, fase dan arah yang sama dengan foton yang ditembak. Foton yang dipancarkan kemudian membentur atom eksitasi yang lain, merangsang pancaran foton lebih lanjut, semuanya dalam frekuensi, fase dan arah yang sama. Hal ini menghasilkan radiasi koheren secara tiba-tiba seperti semua atom meledak dalam reaksi yang cepat dan berantai.

Dalam laser, biasanya cahaya dibuat sedemikian rupa, sehingga cahaya yang dihasilkan akan dipantulkan oleh cermin-cermin dalam laser secara berulang-ulang dalam arah yang sama tanpa berkurang di rongga resonansi. Keuntungan dari proses tersebut adalah didapatkan berkas cahaya laser dengan fokus/kepekaan yang sangat tinggi. Pemantulan ini hanya terjadi secara parsial, apabila atom dipompa kembali ke keadaan eksitasi maka secepat mungkin atom tersebut melepaskan diri, sehingga berkas yang konstan dari cahaya koheren diproduksi (Laud, 1988: 105).

Laser Helium-Neon terdiri atas kira-kira 10 : 1 campuran dari Helium dan Neon yang ditempatkan di dalam pipa keluaran yang panjang dan sempit pada tekanan sekitar 1 torr ( $\sim 1$  mm raksa). Campuran gas ini adalah medium lasing yang membuat inversi populasi. Sistem gas tertutup di antara susunan cermin yang membentuk seperti resonator. Pemompaan diperoleh dari arus keluaran yang dihasilkan dari tegangan tinggi ( $\sim 1$ -2 kV). Tiga elemen penting dari laser Helium-Neon yaitu pemompa, medium laser dan resonator ditunjukkan secara skematis pada Gambar 2.5.



Gambar 4. Skema sistem laser Helium-Neon ([http://en.wikipedia.org/wiki/Helium-neon\\_laser](http://en.wikipedia.org/wiki/Helium-neon_laser))



Gambar 5. Diagram tingkat energi yang menunjukkan tingkat energi dari Helium dan Neon

Gambar 5. menunjukkan transisi tingkat energi dari laser He-Ne. Aksi laser yang sebenarnya terjadi di antara tingkat energi dari Neon, dimana Helium berfungsi untuk membantu proses pemompaan. Ada dua tipe pokok dari eksitasi pada proses pemompaan, yaitu: elektron langsung dan eksitasi tumbukan atomik.

#### IV. METODE PENELITIAN

##### A. Waktu dan Tempat Penelitian

Penelitian ini dilaksanakan pada bulan Maret 2008 sampai bulan Oktober 2008 di Laboratorium Laser dan Optoelektronika Jurusan Pendidikan Fisika Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Negeri Yogyakarta dan industri susu di wilayah Provinsi DIY.

##### B. Variabel Penelitian

Adapun variabel dalam penelitian ini adalah:

- Variabel bebas : suhu pelat ( $T_w$ ), panjang pelat ( $L$ ), jarak sinar laser dengan permukaan pelat ( $r$ )
- Variabel terikat : defleksi ( $D$ )
- Variabel tetap :
  - Diameter berkas sinar laser pada layar : 2 mm
  - Jarak laser dengan tepi pelat ( $S_1$ ) : 8 cm
  - Jarak ujung pelat dengan layar ( $S_3$ ) : 300 cm

##### C. Alat dan Bahan Penelitian

###### 1. Bahan penelitian.

Bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah pelat

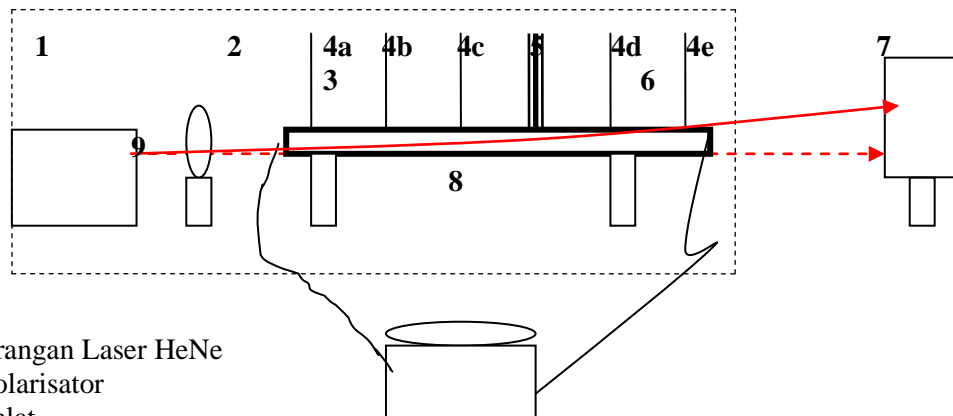
###### 2. Alat penelitian.

Alat yang digunakan dalam penelitian ini adalah:

- a) Laser HeNe 632,8 nm 5 mW CW
- b) Polarisator
- c) Voltage Regulator type SD-2610M output 0-260 V
- d) Pemanas kompor listrik 600 W
- e) Termometer digital type CT-1200
- f) Lup
- g) Layar pembaca dengan kertas millimeter
- h) Kotak penutup

##### D. Skema Penelitian

Desain Percobaan yang digunakan



Keterangan Laser HeNe

- 1 Polarisator
- 2 Pelat
- 3 Termometer (a,b,c,d,e)
- 4 Termometer digital
- 5 Tempat pemanas
- 6 Layar
- 7 Defleksi
- 8 Voltage regulator

#### V. PEMBAHASAN

##### 1. Pengaruh suhu terhadap defleksi

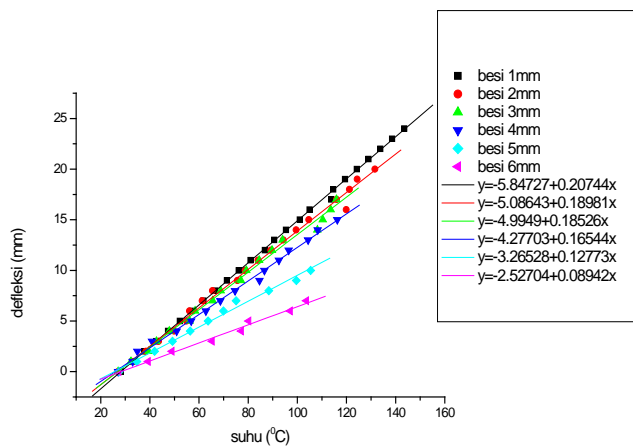
Ketika sebuah pelat dipanaskan, maka suhu pelat tersebut akan didistribusikan ke medium udara di atasnya. Distribusi suhu di atas pelat tersebut semakin ke atas semakin kecil atau mendekati

suhu lingkungan. Akibatnya, pada medium udara tersebut akan terjadi daerah bergradien suhu yang akan menyebabkan terjadinya gradien indeks bias secara bertahap (*graded-index media*), yang dibayangkan sebagai daerah yang terdiri atas segmen-segmen tipis dengan indeks bias yang berbeda (Gambar 2).

Menurut hukum Snellius, jika sinar datang dari medium kurang rapat ke medium lebih rapat ( $n_1 < n_2$ ) maka sinar tersebut akan dibelokkan mendekati normal atau menjauhi daerah batas beda indeks bias. Ketika medium yang berbeda indeks bias tersebut bertahap ( $n_1 < n_2 < n_3 < n_4 < n_5 < \dots < n_n$ ), maka sinar yang melewati daerah tersebut akan dibiaskan secara berulang.

Hal ini terjadi ketika sebekas sinar laser dilewatkan di atas permukaan pelat yang dipanaskan, sinar laser tersebut akan melewati medium dengan indeks bias yang berbeda secara bertahap maka sinar laser tersebut akan dibiaskan secara berulang sehingga terlihat bahwa sinar laser akan bergerak melengkung menjauhi pelat.

Gambar 7. menunjukkan bahwa semakin tinggi suhu pelat, maka sinar laser akan terdefleksi semakin tinggi, hal ini dikarenakan daerah yang mempunyai gradien suhu yang disebabkan oleh pertukaran kalor antara fluida dan dinding atau permukaan pelat semakin tinggi juga. Bisa dikatakan, bahwa fluida yang dipengaruhi oleh suhu permukaan pelat semakin banyak sehingga daerah bergradien suhunya semakin tebal jika dibandingkan kondisi suhu sebelumnya yang lebih rendah. Hal ini menyebabkan daerah gradien indeks bias semakin tebal, dan mengakibatkan sinar laser akan dibiaskan melewati medium indeks bias yang lebih banyak sehingga sinar laser akan terdefleksi lebih jauh.



**Gambar 7.** Grafik hubungan suhu terhadap defleksi pelat besi untuk jarak berkas sinar laser 1, 2, 3, 4, 5, dan 6 mm.

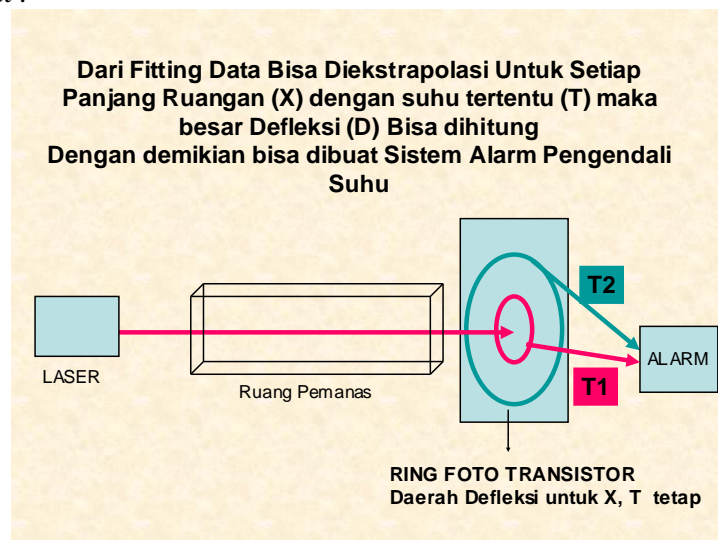
Gambar 7 menunjukkan pengaruh suhu terhadap defleksi untuk panjang pelat 50 cm pada masing-masing jarak berkas sinar laser 1, 2, 3, 4, 5, dan 6 mm. Dari grafik tersebut terlihat bahwa pada jarak 6 mm suhu untuk defleksi yang dihasilkan paling besar dibandingkan dengan jarak yang lain, artinya bahwa pada jarak 6 mm diperlukan suhu yang lebih tinggi agar terjadi defleksi, dikarenakan pada suhu tersebut gradien suhu baru terbentuk sehingga laser terdefleksi. Semakin jauh jarak antara sinar laser dengan muka pelat, maka suhu defleksinya juga semakin besar. Terlihat bahwa nilai slope garis regresinya semakin kecil atau mendekati sumbu x, ketika jarak sinar laser dengan muka pelat semakin jauh.

## VI. KESIMPULAN

Di dalam dunia industri, suhu obyek yang diukur sangatlah tinggi, sehingga pada hasil fitting data di atas dapat diekstrapolasi secara akurat. Dari pembahasan di atas, dapat kita jadikan pedoman bahwa, untuk menentukan metode pengukuran suhu dan desain alat pengukuran suhu non kontak dengan prinsip defleksi laser, harus diperhatikan pengaruh jenis bahan obyek, panjang medium pemanas, dan pada saat pengukuran diusahakan pengaruh suhu sekitar harus dikontrol.

Empat tujuan dari penelitian ini pada tahun pertama telah dicoba direalisasikan melalui tahapan kegiatan yang terstruktur dan sistematis, yaitu; (1) didapatkannya persamaan tentang pengaruh suhu terhadap defleksi Laser, (2). dapat diketahui pengaruh panjang pelat (ruangan) terhadap defleksi laser pada setiap perubahan suhu, (3). dapat diketahui pengaruh jarak Laser dengan permukaan pelat terhadap defleksi Laser, dan (4). dapat dibuatnya model instalasi alarm pengendali operasi pada ruangan dengan suhu tertentu. Dari hasil kegiatan yang telah dilakukan pada tahun pertama telah didapatkan:

1. Hubungan antara Temperatur ruangan dengan defleksi yang terjadi adalah linier  $Y = A + BX$  dengan  $A$  dan  $B$  adalah konstanta tergantung dengan bahan sumber pemanas.  $X$  adalah panjang defleksi dan  $Y$  adalah temperatur yang dihasilkan.
2. Panjang pelat pemanas ruangan juga berpengaruh terhadap defleksi sinar laser sehingga perlu diperhitungkan lagi persamaan dengan tiga variabel yang berpengaruh yaitu panjang pelat, temperatur ruangan dan defleksinya dengan menggunakan program komputer untuk penelitian tahap ke-2.
3. Pengukuran suhu dengan variasi tinggi dari pelat tidak mempengaruhi bentuk linieritas hubungan perubahan temperatur dengan defleksi.
4. Model alarm temperatur tinggi dapat dibuat dalam penelitian ini dengan menggunakan sensor cahaya serta sistem penguatan sinyal dalam satu rangkaian elektronik. Dengan gambar sebagai berikut :

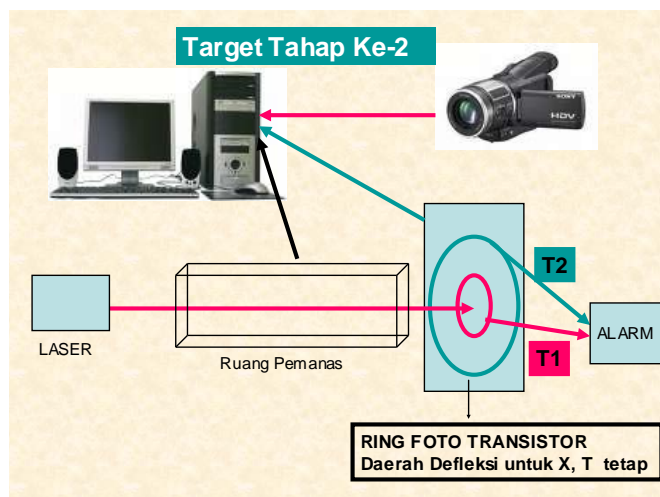


**Gambar 8:** Instrumen penelitian tahap pertama.

Tahap pertama telah mampu dibuat system kendali pada temperatur terbatas dengan sistem alarm dengan pengaturan temperatur.

Selanjutnya untuk tahap ke-2 semua sistem kendali dioperasikan dengan komputer untuk mengekstrapolasi hasil penelitian tahap pertama pada temperatur tinggi. Model penelitian tahap ke-2 adalah sebagai berikut.





Gambar 9. desain eksperimen tahap ke-2 dengan system kendali komputasi.

## VII. SARAN

Berdasarkan kesimpulan di atas masih ditemukan beberapa kelemahan dalam kegiatan penelitian ini. Oleh karena itu perlu dilakukan refleksi sebagai umpan balik perencanaan tindakan penelitian tahun berikutnya. Sensor untuk pemanasan pada suhu tinggi sangat peka oleh karena itu perlu dikembangkan sensor dengan bantuan kamera untuk perekaman jejak defleksi laser yang digunakan sehingga bisa menghasilkan data yang lebih optimal. Disamping itu perlunya pengujian pada industri yang menggunakan instrumentasi temperatur tinggi pada tahapan berikutnya, yang sebetulnya sangat membantu untuk uji coba dari alat yang dihasilkan dalam penelitian ini.

## VIII. DAFTAR PUSTAKA

- Bejan, A & Krauss, A.D. 2003. *Heat Transfer Handbook*. New Jersey : John Wiley & Sons, Inc.
- Born, M & Wolf, E.1980. *Principles of Optics*. New York : Pergamon Press Inc.
- Giancolli. 1991. *Fisika Untuk Universitas* (Terjemahan) Jakarta :Erlangga
- Holman, J.P. (Alih Bahasa oleh Ir. E. Jasjfi, Msc). 1991. *Perpindahan Kalor* Jakarta: Erlangga
- Issac, A 1990. *Kamus Fisika*. Jakarta : Erlangga
- Kreith, Frank. (Alih Bahasa oleh Arko Prijono, MSc).1991 *Prinsip-prinsip Perpindahan Panas* Jakarta : Erlangga
- Laud, B.B (terjemahan Sutanto). 1988. *Laser dan Optik Nonlinear*. Jakarta : Universitas Indonesia-Press
- [http://en.wikipedia.org/wiki/Helium-neon\\_laser](http://en.wikipedia.org/wiki/Helium-neon_laser)
- [wwwid.wikipedia.org/termometer-inframerah](http://wwwid.wikipedia.org/termometer-inframerah)